



DIRECTION REGIONALE ILE-DE-FRANCE
12 avenue Gay-Lussac
Saint-Quentin-En-Yvelines
78990 ELANCOURT

Le 16 avril 2009

DOSSIER BDP1.8.036

Service : Pathologies des matériaux & Aide à l'expertise

<u>AFFAIRE SUIVIE PAR :</u> Guy TACHÉ (01.30.85.21.18), Aurélie DOLLET (04 42 99 27 26) FAX : 01.30.85.21.83 e-mail : g.tache@gingergroupe.com a.dollet@gingergroupe.com	<u>Demandeur :</u> RGD Mr GUERIN
--	---

RAPPORT DE TECHNIQUE NOUVELLE

Procédé DUOGUARD

OBSERVATIONS :

Le présent procès-verbal comporte 15 pages.

Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable, à des fins commerciales ou publicitaires, qu'en reproduction intégrale.

CEBTP-SOLEN SAS au capital de 2 597 660 €

SIEGE SOCIAL : 12 avenue Gay-Lussac-Saint-Quentin-En-Yvelines – 78990 ELANCOURT – Code APE 742 C –

Tél : 01 30 85 24 00 – Fax : 01 30 85 24 30 – RCS Versailles B 412 442 519 – SIREN 412 442 519 — N° TVA : FR 31 412 442 519

Email : info@cebtpt.fr – Site internet : www.cebtpt-solen.com

Qualifié OPQIBI sous le n° 81 05 0433 – Organisme certificateur déclaré auprès du Ministère chargé de l'industrie

SOMMAIRE

1. CONTEXTE, OBJET DE LA MISSION DE GINGER-CEBTP	3
1.1. CONTEXTE	3
1.2. OBJET DE LA MISSION	3
1.3. DOCUMENTS FOURNIS, SUIVI DE CHANTIER	3
2. DESCRIPTION DU PROCEDE DUOGUARD	3
3. SUIVI DE CHANTIER.....	4
3.1. DIAGNOSTIC PREALABLE	4
3.2. SUIVI DU TRAITEMENT	4
3.2.1. <i>Vérifications préalables</i>	<i>5</i>
3.2.2. <i>Produits.....</i>	<i>5</i>
3.2.3. <i>Traitement annexes</i>	<i>5</i>
3.2.4. <i>Données de calcul des anodes</i>	<i>5</i>
3.2.5. <i>Electrodes de référence.....</i>	<i>5</i>
3.2.6. <i>Système de contrôle</i>	<i>5</i>
3.2.7. <i>La phase 1.....</i>	<i>5</i>
3.2.8. <i>Mesures effectuées.....</i>	<i>6</i>
3.2.9. <i>La phase 2.....</i>	<i>6</i>
3.2.10. <i>Evolution des courants.....</i>	<i>6</i>
4. CONCLUSIONS	7
 ANNEXE : PHOTOGRAPHIES CARBONE SAVOIE, PLANS DE LA ZONE TEST, ENREGISTREMENTS DES MESURES, CARTOGRAPHIES DE POTENTIEL	

1. CONTEXTE, OBJET DE LA MISSION DE GINGER-CEBTP

1.1. Contexte

Dans le cadre du développement de la commercialisation de ses procédés, la Société RGD représentée par monsieur GUERIN a demandé à GINGER-CEBTP de réaliser une étude sur le procédé DUOGARD.

1.2. Objet de la mission

Les objectifs de cette étude ont été:

- **L'étude technique des dossiers fournis.** Des remarques ont été émises sur le Cahier des Charges du procédé et apporter des modifications ou corrections si besoin : vérification de l'adéquation entre ces documents et les normes en vigueur, vérification de l'exhaustivité et de la validité des essais et mesures proposés,
- **Le suivi d'un chantier** pour l'étude de la mise en œuvre du procédé, afin de rendre compte de la conformité de l'application par rapport au Cahier des Charges (*Carbone Savoie*).
- **La rédaction d'un rapport de technique nouvelle relative à l'emploi** de ce procédé.

1.3. Documents fournis, suivi de chantier

Les éléments suivants nous ont été fournis :

- Le Cahier des Charges de mise en œuvre (évalué et revu par GINGER-CEBTP), version du 11/02/09
- Le rapport de diagnostic, ainsi que les notes de calcul, les plans et le phasage de réalisation relatif aux silos de Carbone Savoie
- Le logiciel de calcul de pré-dimensionnement des anodes Duoguard (version 2.2), et son mode d'emploi,
- Les cartographies de potentiel effectuées lors de la mise en route de la surface test-
- Les relevés de mesures de courant effectués sur la surface test en 2007 et 2009.

2. DESCRIPTION DU PROCEDE DUOGUARD

Ce procédé a pour objectif *«d'arrêter la corrosion des armatures par application de deux phases de traitement dans les ouvrages en béton armé soumis à la corrosion atmosphérique»*.

Il demande l'installation d'anodes en alliage de zinc, connectées en réseau (ou grappes), selon une méthodologie décrite dans le Cahier des Charges précédemment cité, et une connexion électrique aux armatures.

Une première phase consiste à faire passer un courant de sens convenable entre les anodes et les armatures (celles-ci étant au pôle moins d'une batterie ou un redresseur 12 V). La durée de cette phase est d'une semaine.

Les anodes sont alors directement reliées aux armatures (seconde phase), et fonctionnent en mode galvanique. Le courant s'ajuste en fonction de la demande (corrosion, humidité, température).

Les matériaux spécifiques nécessaires à ce procédé sont :

- Les anodes **DUOGUARD® 500, DUOGUARD® 350, DUOGUARD® 175** . Elles se différencient par leur capacité. Elles sont livrées avec un bon de livraison reprenant le n ° de lot de fonderie. En cas de demande un certificat de conformité reprenant les dimensions, la masse et la charge capacitive peut être édité.
- Une pâte alcaline d'injection des anodes **DUOCRETE® SD**,
- Des connecteurs, du fil en titane, des électrodes de référence,
- Une batterie 12 V 110 Ah avec chargeur et redresseur.

3. SUIVI DE CHANTIER

Dans le cadre de cette mission, le chantier suivant a été suivi : Silos de stockage de coke de pétrole (usine de fabrication d'anodes pour l'industrie de l'aluminium Carbone Savoie).

Il s'agit de structures en béton armé (octogones), constituée de poteaux, linteaux, caissons, construits en 1952 (silos 1 à 3) et 1959 (silo 4). L'environnement est de type industriel.

Le projet de réparation a démarré en octobre 2007. Il a compris le traitement des linteaux et la jonction linteaux-poutres, par le système DUOGUARD 500.

3.1. Diagnostic préalable

Un rapport de diagnostic nous a été remis à titre confidentiel, qui relate les données suivantes :

- conception et constitution de chaque silo,
- données d'entretien, et de réparation,
- données environnementales,
- examen visuel avec description des désordres (principalement fissuration, ségrégation locale avec décohesion, et surtout corrosion des armatures sur les linteaux,
- des mesures de profondeur de carbonatation (entre 20 et 40 mm), et d'enrobage sur les linteaux, qui mettent en évidence le fait que de nombreuses armatures sont dans la zone de béton carbonaté,
- des déterminations en laboratoire des teneurs en sulfates,
- des examens de la microstructure du béton en microscopie électronique à balayage, ne mettant pas en évidence d'anomalies à ce niveau (absence d'ettringite expansive),

Ainsi, la principale pathologie observée est la corrosion des armatures, localisée sur les linteaux, due à une carbonatation du béton.

3.2. Suivi du traitement

Les différentes phases du traitement ont été suivies par GINGER CEBTP lors de la visite du 20 mai 2008.

Les surfaces présentées par les photographies en Annexe ont été traitées. Au total 11 anodes sont installées.

3.2.1. Vérifications préalables

Après dégagement local des armatures, la continuité électrique est vérifiée entre les points suivants :

- Armature longitudinale et poteau
- Entre deux armatures longitudinales

Les mesures sont faites à l'aide d'un multimètre. Le critère de continuité est de 5 Ω

3.2.2. Produits

Les anodes sont de type DUOGARD 500. Le produit de remplissage est la pâte DUOCRETE SD.

Les réparations préalables sont effectuées à l'aide de BETEC 440. Le rebouchage des saignées et le produit de finition est le BETEC 405 HZ (réparations inférieures à 5 mm). Le mortier BETEC 405 est à base de ciment CEM III.

Le traitement s'achève par l'application d'un vernis polyuréthane PU50 de Pieri.

3.2.3. Traitement annexes

Les fissures sur les poteaux sont traitées, après ouverture par sciage, à l'aide de LANKOCEM, et finition avec BETEC 405.

3.2.4. Données de calcul des anodes

Un programme de calcul est disponible, avec son mode d'emploi.

Il permet de sélectionner le nombre d'anodes pour la zone concernée. Les données d'entrée sont exclusivement : les longueurs, nombre, et diamètre des armatures.

Dans le cas présent pour le linteau (voir schémas en annexe), la totalité des armatures a été prise en compte (2 nappes de 3 armatures de diamètre 16 mm et des cadres de 6 mm espacés de 10 cm environ, sur 2.48 m) soit 0,36 m² d'acier par mètre de surface de parement. Cela a conduit à 7 anodes (0.195 m² d'acier par anode).

Pour le pilier, il y a les armatures verticales (4 armatures de diamètre 6 mm, et 4 de 14 mm), et horizontales (11 cadres de 6 mm). L'évaluation se fait par les cercles d'influence et conduit à 4 anodes.

3.2.5. Electrodes de référence

Elles sont de type Manganèse/oxyde de manganèse. Elles sont livrées enrobées de mortier, avec un certificat de calibration (E Ag/Ag Cl) par anode.

Elles sont trempées 1h dans l'eau avant leur mise en place. Il n'y a pas de procédure de test sur le site.

3.2.6. Système de contrôle

Une zone a été équipée d'un système de contrôle (silo 4, C1-2), avec enregistrement (Sefram), dans un coffret. Il existe une signalétique spécifique, et un schéma de câblage (voir en Annexe).

3.2.7. La phase 1

Il s'agit de la mise en place des anodes, leur contrôle et la mise en charge (passage du courant). Un nouveau contrôle de continuité est effectué avant mise en place (entre les anodes et les armatures : 2 M Ω minimum) ;

Les photographies en Annexe présentent :

- Les connexions électriques (tige en titane, serrée par des colliers en acier inoxydable)
- La mise en place de la pâte et des anodes.
- Leur vérification une par une.
- Le contrôle des courts-circuits éventuels avant et après scellement.

La mise en charge est effectuée à l'aide d'un générateur de courant continu 12 V. Le courant est enregistré.

3.2.8. Mesures effectuées

Des mesures de potentiel (cartographies) ont été effectuées pendant les différentes phases de mise en route du système (mesures communiquées):

- avant toute intervention sur la zone test,
- après la phase 1 et avant la connexion phase 2,
- 24h après la connexion en phase 2.

Par ailleurs lors de notre visite, les mesures suivantes ont été effectuées :

- Contrôle de la continuité électrique du câble des anodes : 1 à 2 Ω .
- Contrôle de la continuité électrique des armatures : 3.9 Ω . Entre poteau et linteau, de 1 à 2.5 Ω dans le linteau.
- Continuité entre anodes et armatures, à sec : 2 M Ω
- Après mise en charge (connexion des anodes et des armatures à un générateur 12 V).
 - Courant = 147 mA
 - E masse/E Ref= 3.3 V

Enfin, des essais complémentaires ont pu être effectués sur un voile adjacent au linteau 381 :

- Mesure de $i = f(t)$ après branchement des anodes en direct avec les armatures.
 - Après 1 heure = courant de 1.5 mA

3.2.9. La phase 2

Après 7 jours, le courant est stoppé, et il est procédé aux connexions entre les anodes et la masse, et aux tests de polarisation.

3.2.10. Evolution des courants

On trouvera en Annexe deux enregistrements effectués sur la même zone test, en juin 2007, après la mise en place des premières anodes, et en novembre et décembre 2008.

En juin 2007, le courant (correspondant à 11 anodes), variait entre 2,3 et 4,2 mA.

En novembre et décembre 2008, le courant était en moyenne de 29 mA (min 16 mA, max 50 mA).

4. CONCLUSIONS

Le procédé **DUOGUARD®** est un procédé de protection des armatures dans le béton armé en milieu atmosphérique, opérant en deux phases successives. La première d'une durée d'une semaine, utilise une source de courant électrique externe ; les anodes fonctionnent alors à courant imposé. Dans la seconde phase le système fonctionne comme anodes galvaniques.

Il n'y a pas de normes spécifiques relatives à ce procédé, mais certaines étapes sont à rapprocher de la norme NF EN 12696 « *Protection cathodique de l'acier dans le béton* » : la préparation, l'installation. Par contre, les critères de protection de la norme ne sont pas adaptés.

La fabrication des anodes est suivie, homogène et contrôlée aussi bien dans le cadre de contrôles internes qu'externes. Les produits associés utilisés, notamment dans le cadre de la mise en œuvre du procédé, sont listés et décrits dans le Cahier des Charges (version du 11/02/2009).

Les mesures effectuées, notamment le suivi des intensités circulant entre les anodes et les armatures, mettent en évidence un débit de celles-ci. Ce débit n'est toutefois pas constant dans le temps. Au début de l'installation, en période chaude, le courant total circulant dans la zone test est compris entre 2 et 4 mA. Un an et demi après, en période plus froide et plus humide, le courant global est compris entre 16 et 50 mA. Les cartographies de potentiel pendant le couplage mettent en évidence également le bon fonctionnement des anodes (phase 2), et la disparition progressive de la zone anodique de corrosion.

La conception du système (nombre d'anodes) est basée sur un mode de calcul simplifié prenant en compte la surface des armatures concernées et la surface de béton.

Les estimations des calculs de durée de vie des anodes sont quant à elles basées sur un logiciel prenant en compte le type d'anodes, un nombre d'anodes au m² de parement, une efficacité d'anode de 85%, une densité de courant moyen par m² d'acier. Elles mettent en évidence, dans l'étude de ce chantier, des durées de vies estimatives comprises entre 15 et 30 ans, pour une densité de courant moyenne de 5 mA/m².

Ce procédé est donc adapté pour la protection des armatures du béton, à condition de respecter l'ensemble des éléments de conception, de mise en œuvre et de suivi, décrits dans le Cahier des Charges (version du 11/02/2009), cité en référence. Le suivi par mesures de courant sur une zone témoin caractéristiques de l'ensemble du chantier, est indispensable pour mieux affiner la durée de vie des anodes et ainsi anticiper leur éventuel remplacement, à l'aide d'un enregistrement du courant pendant un an (pas de mesure de l'ordre de grandeur de la journée par exemple).

Cet avis est valable 1 an avec reconduction tacite tous les ans pendant 3 ans ; au delà des 3 ans, ce rapport d'aptitude à l'emploi devra être revu.

Par ailleurs, il est nécessaire de faire appel à une entreprise **applicatrice qualifiée** pour ces applications.

Enfin, en cas de doute sur un support ou une destination, une assistance des conseillers techniques peut être demandée.

Nota :

- La société devra signaler à la société GINGER CEBTP, toute modification affectant le procédé (composition et mise en œuvre) ; dans ce cas, le présent rapport deviendrait caduque et devrait être refait.
- Cet avis ne présume en rien de la durabilité du procédé, qui nécessiterait des études complémentaires.

Aurélié Dollet

Guy Taché

ANNEXES

Photographies Carbone Savoie





Vue générale du silo 4



Vue générale du silo 4



Zone de mesures silo 4 C-1-2



Id détail du linteau



Mise en place des anodes, connexion



Id détail de la connexion



Electrode de référence



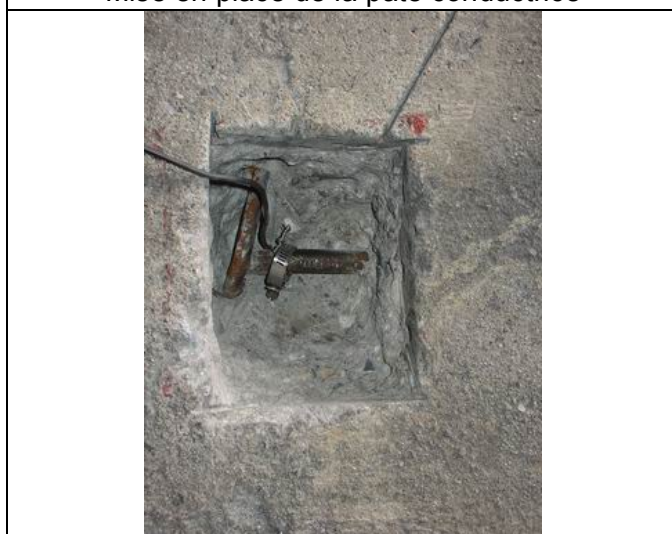
Placement et connexion des anodes



Mise en place de la pâte conductrice



Chapelet d'anodes



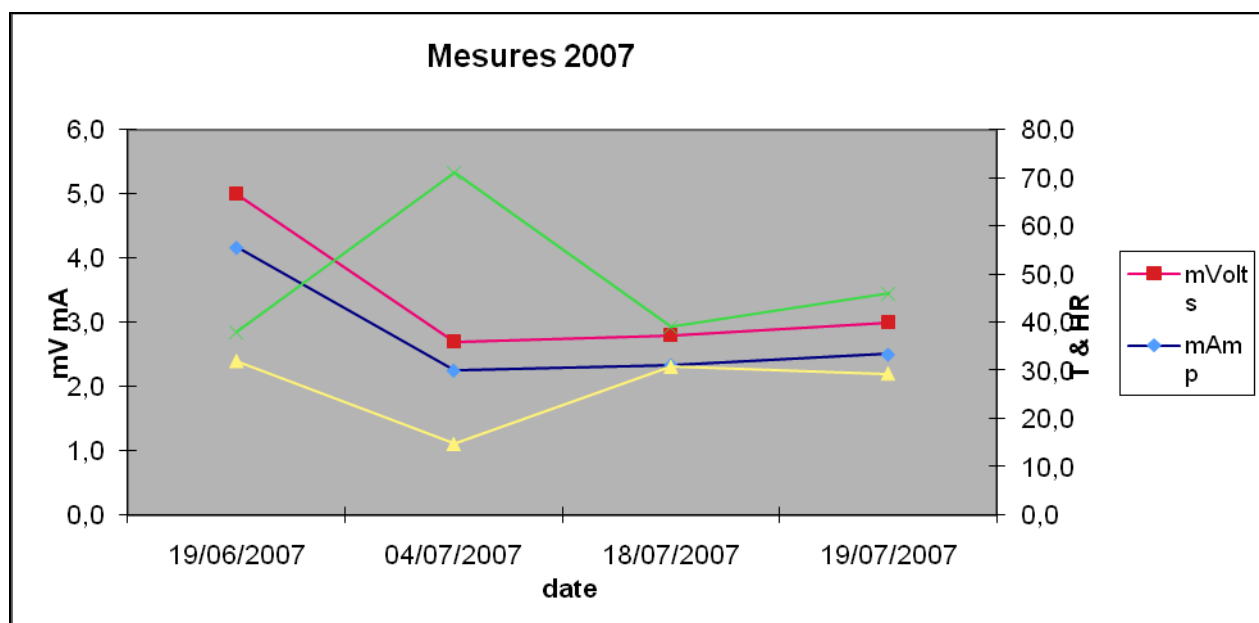
Connexion électrique aux armatures

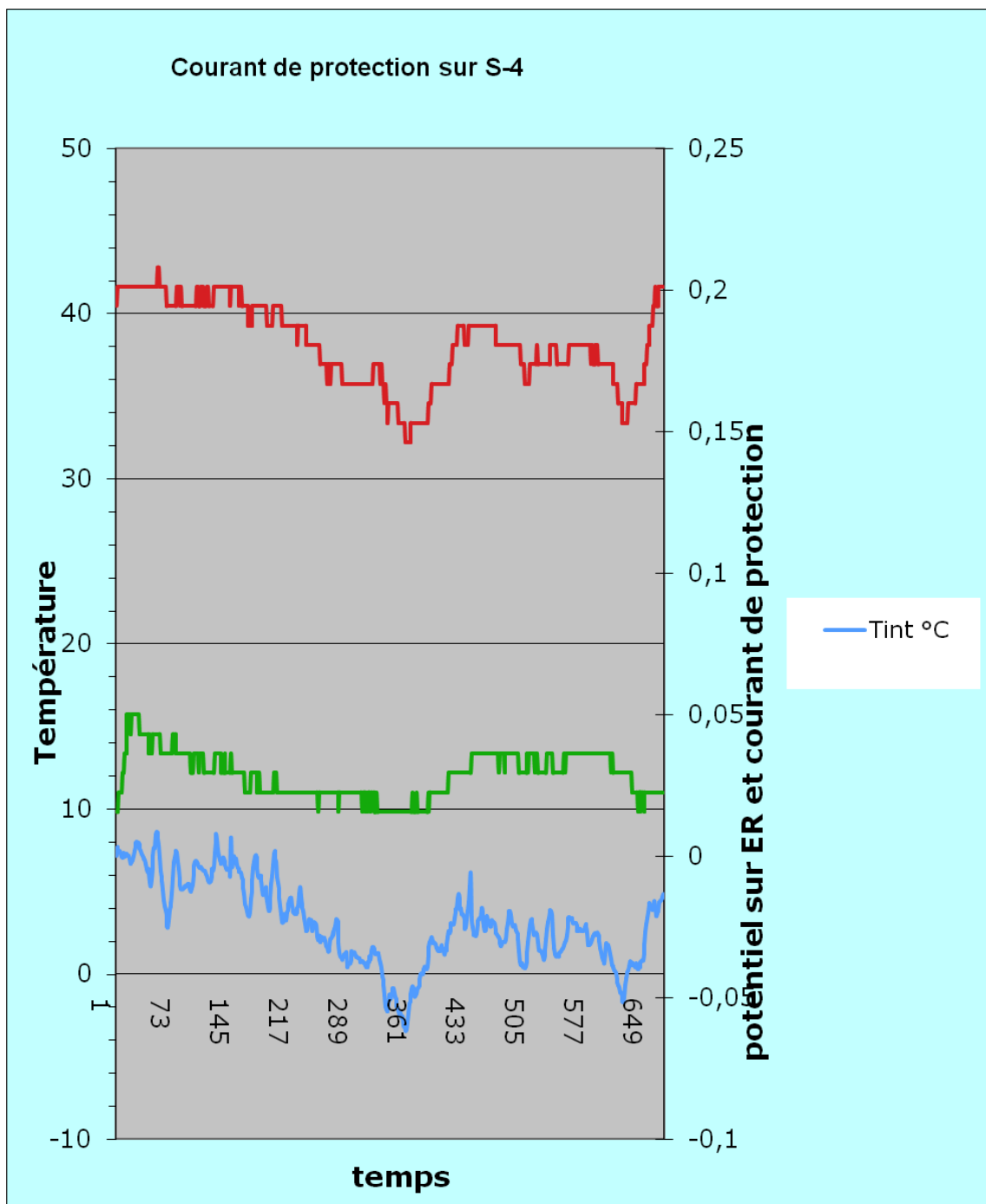


Anodes et électrode de référence

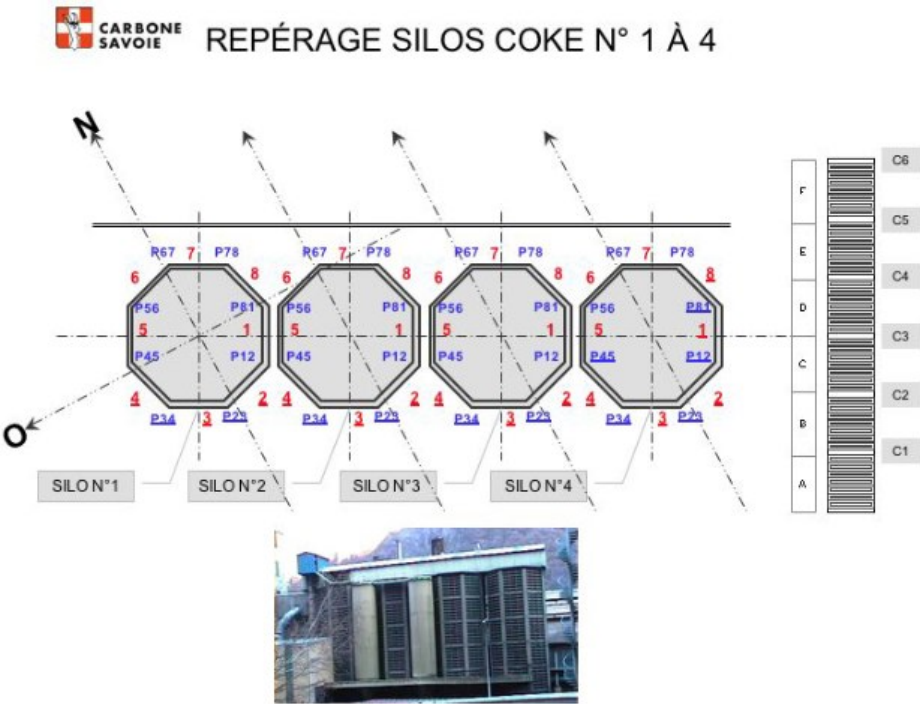
Enregistrements des courants

2007 et 2008





Plans
Carbone Savoie
Zone sélectionnée pour les mesures

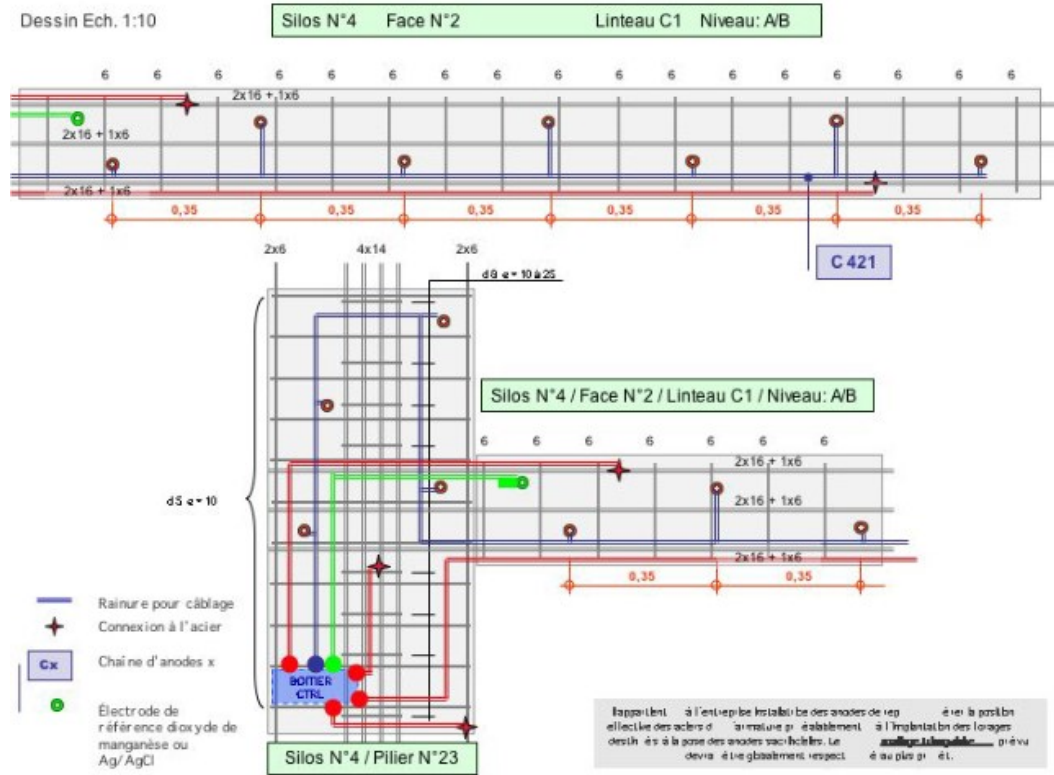


SILOS N° : 4 FACE N° : 2 PILIER N° : 23	<table><tr><td>F</td><td></td></tr><tr><td>E</td><td></td></tr><tr><td>D</td><td></td></tr><tr><td>C</td><td></td></tr><tr><td>B</td><td></td></tr><tr><td>A</td><td></td></tr></table>	F		E		D		C		B		A		Observations: Nettoyage des zones suivantes: Silos N° 4 face N° 2: ↳ Linteau A/B (C1) ↳ Pilier N° 23 zone A/B Piquage des bétons et traitement des armatures selon CCTP 5-1 des zones suivantes: ↳ Linteau A/B (C1) ↳ Pilier N° 23 zone B (zone déjà dégradée) Reconstitution des zones dégradées selon CCTP 5-2 des zones suivantes: ↳ Linteau A/B (C1) ↳ Pilier N° 23 zone B (zone déjà dégradée) Mise en œuvre du système de protection électrochimique du béton armé selon CCTP 5-3 et dispositions de la planche de validation définies ci-après dans le présent document: ↳ Linteau A/B (C1) ↳ Pilier N° 23 zone B (zone déjà dégradée)
F														
E														
D														
C														
B														
A														

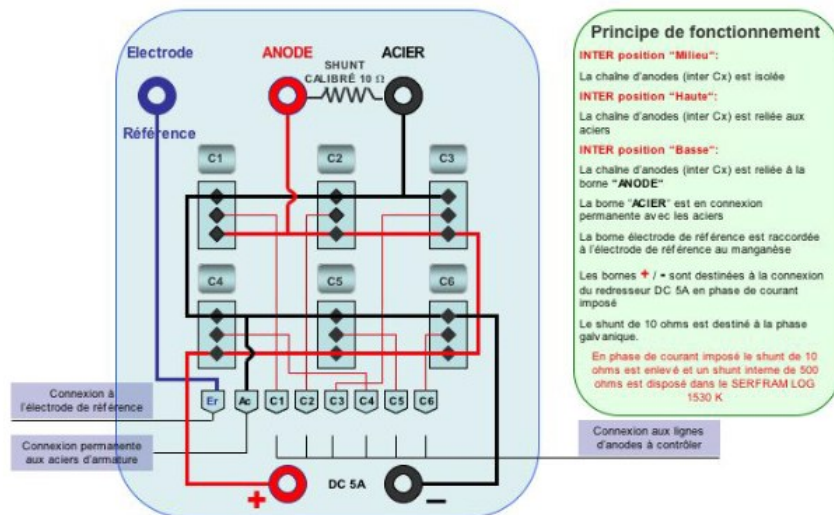
PLANCHE DE VALIDATION

SERVICE PATHOLOGIE DES MATERIAUX
AIDE A L'EXPERTISE
N/Ref R BDP1.8.036

Dessin Ech. 1:10



BOÎTIER DE CONTRÔLE TYPE



Cartographies de potentiel
Interprétation des mesures

1 : initial
2 : après la phase 1
3 : 24 heures après le branchement des anodes (phase 2)

